

# ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ДОБАВОК НА ТЕМПЕРАТУРУ НАЧАЛА РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ АЛЮМИНИЯ

**Рязанцева М. А.**

*Руководитель – к.т.н., зав. кафедрой МЦМ «МИСиС» Солонин А.Н.*

*Научный консультант – д.т.н., проф, Портной В.К.*

НИТУ «МИСиС», Москва, Россия.

[mariyaryaz@yandex.ru](mailto:mariyaryaz@yandex.ru)

Известно, что среди разных факторов, влияющих на температуру начала рекристаллизации, малые добавки легирующих элементов часто повышают эту температуру, если: 1) тип кристаллической решетки легирующего элемента отличается от типа кристаллической решетки основы; 2) атомный радиус легирующего элемента сильно отличается от атомного радиуса элемента основы.[1-3]

В данной работе исследовали двойные сплавы на основе алюминия. Для того чтобы определить влияние каждого из указанных выше факторов, выбирали легирующие элементы с решеткой ГП (Mg, Zn и Ti) и с решеткой ГЦК (Cu и Ag) с различными атомными радиусами.

## *Методика проведения эксперимента*

В качестве объектов исследования были выбраны сплавы, составы которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав исследуемых сплавов.

Система	Концентрация легирующего элемента, ат%				
Al-Zn	0,005	0,05	0,1	0,2	0,3
Al-Mg	0,005	0,05	0,1	0,2	0,3
Al-Ti	0,005	0,05	0,1	0,2	0,3
Al-Cu	0,005	0,05	0,1	0,2	0,3
Al-Ag	0,005	0,05	0,1	0,2	0,3

Разность металлических атомных радиусов выбранных легирующих элементов и алюминия и типы их кристаллических решеток представлены в таблице 2. Исходя из приведенных выше гипотез по данным таблицы 2 можно предположить, что наибольшее влияние на ход процесса рекристаллизации будет оказывать Mg.

Образцы всех исследуемых составов получали литьем в металлическую изложницу, а затем подвергали гомогенизационному отжигу. Горячую

прокатку проводили при температуре 350 °С на 47%. Перед холодной прокаткой проводили смягчающий отжиг. Обжатие при холодной прокатке составило 80%.

Таблица 2 - Разность металлических атомных радиусов легирующих элементов и алюминия и типы кристаллических решеток добавок

Элемент	$\Delta R$ , нм	Решетка
Zn	-0,4	ГП
Mg	+1,7	ГП
Ti	+0,3	ГП
Cu	-1,5	ГЦК
Ag	+0,1	ГЦК

В качестве параметра для сравнения хода рекристаллизации в исследованных сплавах приняли температуру половинного снижения твердости при отжиге. Для этого образцы отжигали при различных температурах и измеряли твердость по Виккерсу. Затем строили графики зависимости твердости от температуры отжига.

Точность определения температуры половинного снижения твердости ( $T_{\text{пс}}$ ) оценивали методом микроструктурного анализа. При температуре принятой за  $T_{\text{пс}}$  в структуре наблюдали и волокна, вытянутые вдоль оси деформации и равноосные рекристаллизованные зерна в соотношении примерно 50 на 50 (по площади на шлифе). Такую смешанную структуру наблюдали при температуре начала рекристаллизации в сплавах алюминия с медью, магнием, титаном и серебром. И только в сплавах с цинком картина иная.

В сплавах с цинком структура после отжига при различных температурах отжига оставалась волокнистой, но половинное снижение происходило, что можно объяснить протеканием процессов полигонизации. Качественно микроструктура сплавов с цинком не отличается от структуры чистого алюминия отожженного при разных температурах. В сплавах же с магнием в структуре наблюдаются и волокна и равноосные зерна, что свидетельствует о начале процесса рекристаллизации. Это подтверждают данные просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). В тонкой структуре сплавов систем Al-Zn и Al-Mg видны отличия и в дислокационной структуре. При концентрации легирующего элемента 0,05% в сплавах с цинком в холоднокатаном состоянии дислокации преимущественно располагаются в стенках субзерен, в сплавах же с магнием субграницы размыты и видны дислокации в теле субзерен.

Результаты определения  $T_{\text{пс}}$  сплавов всех исследованных систем представлены на рисунке 4.

Добавление пяти тысячных процента всех исследованных легирующих элементов увеличивает  $T_{\text{пс}}$  алюминия на 120-130 °С. Максимальная температура начала рекристаллизации у сплавов системы Al-Ti, при

концентрации более 0,05%, что вероятно связано с выделением частиц алюминидов титана.

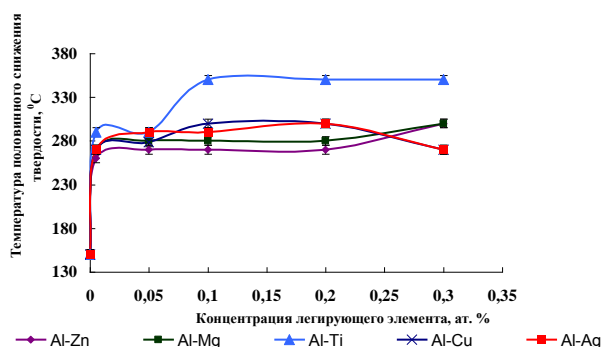


Рис. 4 -  $T_{0,5}$  сплавов всех исследованных систем

Исследуемые сплавы, вероятно, обладают повышенной теплостойкостью, поэтому исследовали также влияние этих добавок на электропроводность алюминия с целью, впоследствии, разработать на их основе сплав электротехнического назначения. В холоднокатаном состоянии по степени уменьшения электропроводности элементы располагаются в следующей последовательности: Ag, Cu, Ti, Zn, Mg. максимальное снижение электропроводности составило не более 25% от чистого алюминия марки А99

По описанной выше технологической схеме исследовали также сплавы систем Al-Mn, Al-Cr и Al-Fe. Эти элементы также повышают  $T_{0,5}$  алюминия на 120-130 °C. Эффективнее всего действует Fe.

#### Выводы:

1. Методами измерения твердости и структурного анализа для чистого алюминия (А99) и однофазных сплавов систем Al - Zn, Al- Mg, Al – Cu, Al – Ti, Al – Ag, а так же для двухфазных сплавов систем Al – Mn, Al – Cr и Al - Fe определены температуры половинного снижения твердости при отжиге. Добавка пяти тысячных атомных процентов легирующего элемента существенно повышает температуру начала рекристаллизации, особенно сильно это наблюдается при добавлении титана и железа.
2. Сплавы системы Al – Zn в холоднокатаном состоянии имеют полигонизованную структуру. Сплавы систем Al-Mg, Al-Cu, Al-Ti, Al-Ag имеют ячеистую структуру. После отжига при температуре половинного снижения твердости в сплаве Al – Zn структура осталась полигонизованной, а снижение уровня твердости произошло за счет роста субзерен. В сплавах других систем, по данным микроструктурного анализа, при температуре половинного снижения твердости началась рекристаллизация и видно образование новых зерен.
3. По степени уменьшения электропроводности элементы располагаются в следующей последовательности: Ag, Cu, Fe, Ti, Zn, Mg, Mn, Cr.